

05;11;12

©1994 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ Co-Ni ПЛЕНОК ПО ТОЛЩИНЕ

Л.И.Зеленина, В.Е.Зубов, С.И.Мацкевич, С.С.Субботин

С использованием магнитооптического микромагнетометра и вибрационно-го магнетометра изучены поверхностные и объемные магнитные свойства тонких металлизированных Co-Ni пленок, напыленных под углом. Установлено, что магнитные свойства пленок толщиной $\sim 1000 \text{ \AA}$ и выше неоднородны, в частности коэрцитивная сила (H_c) на поверхности пленок, прилегающей к подложке, существенно превосходит H_c на свободной поверхности и в объеме. На основании полученных экспериментальных данных сделан вывод о том, что основным механизмом перемещения доменных границ.

Введение

Перспективность использования металлизированных носителей магнитной записи обусловлена тем, что по сравнению с традиционными порошковыми носителями они обладают рядом преимуществ, таких как большая концентрация магнитной фазы, высокие значения коэрцитивности и остаточной магнитной индукции, высокая плотность записи. В настоящее время лучшими металлизированными носителями информации для продольной магнитной записи считаются пленки Co-(20-30%)Ni, приготовленные вакуумным напылением под углом [1-3].

Один из возможных путей дальнейшего повышения эффективности носителей магнитной записи заключается в создании пленок с заданным распределением магнитных свойств по толщине (см., например, [4]). В настоящей работе исследовано распределение магнитных свойств различных Co-Ni пленок по толщине.

Образцы и методика измерений

Исследована группа образцов, которые представляли собой пленки состава Co-(30 ат.%)Ni различной толщины d , напыленные под углом на подложку из полиэтилентерефталата. Пленки наносили электронно-лучевым испарением при движении подложки от большего угла напыления к меньшему при давлении остаточных газов в камере 10^{-5} мм рт. ст. Пленка 1 с $d \cong 700 \text{ \AA}$ была приготовлена

при максимальном и минимальном углах напыления, равных 90 и 57° соответственно. Максимальный и минимальный углы для пленок 2 ($d \cong 1000 \text{ \AA}$), 3 (1400 \AA), 4 (3000 \AA) составляли 90 и 63°. Толщина пленок 2–4 регулировалась изменением скорости протяжки подложки в камере напыления. Кроме того, исследована широко используемая в магнитной записи трехслойная пленка “Ангром” с толщиной слоев Co–Ni по 0.1 мкм [5].

Проводилось исследование как объемных, так и поверхностных свойств пленок. Для измерения объемных магнитных характеристик использовался вибрационный магнетометр ВНВ-30 (“Рикен Денси”), поверхностных — магнитооптический микромагнетометр (МОММ) [6]. На поверхности с помощью магнитооптического экваториального эффекта Керра исследовались компоненты намагниченности, параллельные плоскости пленки. Поскольку величины магнитооптических эффектов малы (относительное изменение интенсивности света составляет $\sim 10^{-3} \div 10^{-4}$), то с целью повышения чувствительности в МОММ используется динамическая методика измерений [6]. Использование динамической методики позволяет проводить локальные исследования поверхности с участков площадью $\sim 1 \text{ мкм}^2$. Помимо кривых намагничивания МОММ позволял измерять и сдвиг фазы намагниченности φ относительно фазы переменного магнитного поля H , который определялся из соотношения $\varphi = \arctg(I^{90}/I^0)$, где I^0 , I^{90} — составляющие намагниченности, совпадающая по фазе и сдвинутая на 90° относительно фазы поля. Измеряемые кривые $I(H)$ проходят через вершины динамических петель гистерезиса и при низких частотах соответствуют начальным кривым намагничивания [7]. Измерения проводились на частоте 80 Гц.

Определение коэрцитивности из магнитооптических измерений

На рис. 1 представлены зависимости $I^0(H)$, $I^{90}(H)$ и $\varphi(H)$, характеризующие процесс намагничивания поверхностей пленки 1 в поле H_y , где H — амплитудное значение поля (в используемой системе координат плоскость xu параллельна плоскости пленки, причем ось y па-

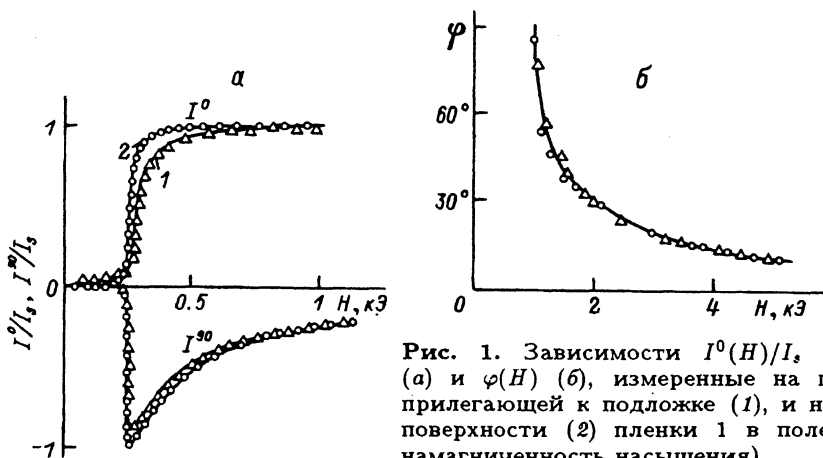


Рис. 1. Зависимости $I^0(H)/I_s$ и $I^{90}(H)/I_s$ (а) и $\varphi(H)$ (б), измеренные на поверхности, прилегающей к подложке (1), и на свободной поверхности (2) пленки 1 в поле H_y (I_s — намагниченность насыщения).

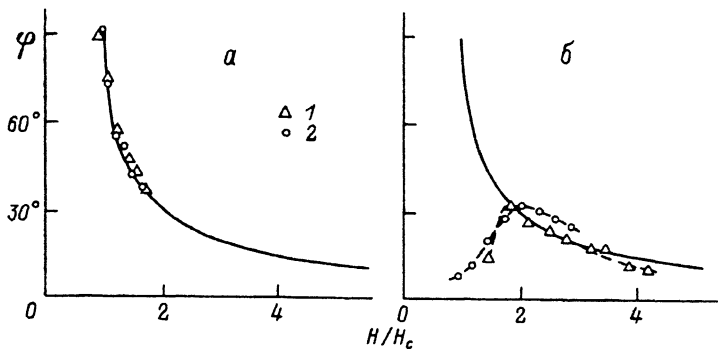


Рис. 2. Зависимости $\varphi(H)$, измеренные в поле H_y на обеих поверхностях пленок 2 (2) и 3 (1).

a — на поверхности, прилегающей к подложке; *b* — на свободной поверхности.

параллельна направлению движения подложки в процессе напыления). Результаты эксперимента с высокой точностью могут быть описаны зависимостью

$$\varphi = \arcsin(H_c/H) \quad (1)$$

при $H > H_c$ (сплошные кривые на рис. 1, б и 2), здесь H_c — коэрцитивная сила, которая, например, в случае пленки 1 практически не отличается от объемной.

В работе [8] была показана применимость уравнения (1) для описания движения отдельной доменной границы, а также вертикальной блоховской линии и блоховской точки в совершенных монокристаллах железа. Учитывая тот факт, что зависимость (1), характеризующая движение субструктурных магнитных элементов, хорошо описывает поведение пленок 1–4 в поле H_y , и что ось легкого намагничивания (ОЛН) пленок параллельна оси y (см. ниже), естественно предположить, что основным механизмом перемагничивания пленок в этом направлении является движение доменных границ. Некоторое отклонение экспериментальных кривых от зависимости (1), наблюдаемое при $H \sim H_c$ на свободных поверхностях пленок 2 и 3 (рис. 2, б), связано, по-видимому, с влиянием механизма вращения вектора намагниченности [9,10]. Включение механизма вращения при намагничивании вдоль ОЛН может быть обусловлено дисперсией локальных осей анизотропии пленок.

Распределение магнитных свойств Co–Ni пленок по толщине

На рис. 3 представлены кривые намагничивания обеих поверхностей и объемные петли гистерезиса пленок 2–4, измеренные в поле H_y . Кривые намагничивания в поле H_x в исследованном диапазоне полей (до 2 кЭ) для всех трех пленок линейны, что свидетельствует о ярко выраженной одноосной анизотропии с осью легкого намагничивания параллельной оси y . Результаты исследования пленки “Анграм” приведены на рис. 4. Измеренные значения коэрцитивной силы на обеих поверхностях и в объеме пленок даны в таблице.

Во всех исследованных пленках обе поверхности по своим магнитным свойствам отличаются друг от друга, а также от объема, что

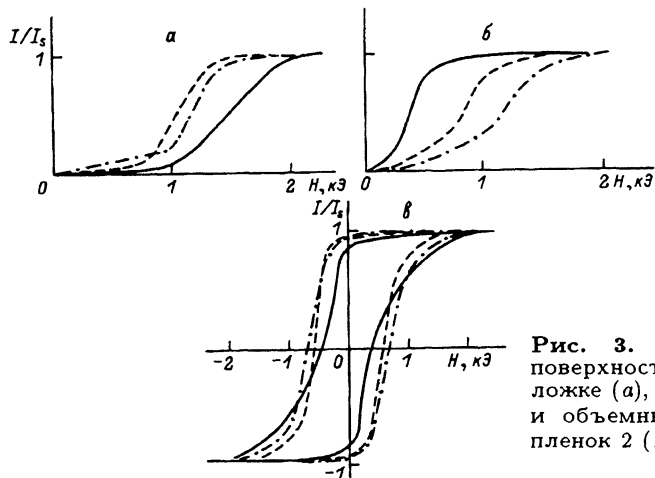


Рис. 3. Кривые намагничивания поверхности, прилегающей к подложке (а), свободной поверхности (б) и объемные петли гистерезиса (в) пленок 2 (1), 3 (2) и 4 (3).

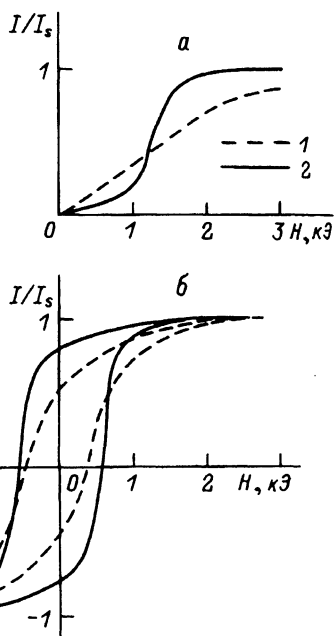


Рис. 4. Кривые намагничивания свободной поверхности (а) и объемные петли гистерезиса (б) пленки "Ангром", измеренные в поле H_x (1) и H_y (2).

свидетельствует о неоднородном распределении магнитных свойств по толщине. О характере неоднородности можно судить, сравнивая H_c^n , $H_c^{св}$ и $H_c^{об}$ (см. таблицу), где H_c^n , $H_c^{св}$ и $H_c^{об}$ — величины коэрцитивного поля поверхности, прилегающей к подложке, свободной поверхности и в объеме пленки соответственно.

В пленке 1 свойства обеих поверхностей отличаются незначительно (рис. 1), что связано, по-видимому, с малой толщиной пленки. Параметром, характеризующим размеры микромагнитных неоднородностей в материале, является ширина доменной границы $\delta = \pi \sqrt{A/K} = \pi \sqrt{2A/H_s I_s}$, где A — параметр обмена, K — константа одноосной

Пленка	Толщина $d, \text{Å}$	$H_c^n, \text{Э}$	$H_c^{c^a}, \text{Э}$	$H_c^{c^b}, \text{Э}$	$(H_c^n + H_c^{c^a})/2, \text{Э}$
1	700	249	234	243	242
2	1000	1060	570	670	815
3	1400	1020	480	600	750
4	3000	1000	370	410	690
«Ангром»	3 слоя по 1000 Å		1200	560	

анизотропии, H_s — поле насыщения материала при намагничивании в трудном направлении. Для исследованной пленки $A \sim 1 \cdot 10^{-6}$ эрг/см [1], $4\pi I_s \cong 13$ кГс, $H_s \cong 300$ Э, откуда $\delta \cong 900$ Å. Поскольку $d \lesssim \delta$, то обменное взаимодействие приводит к сильной корреляции ориентации намагниченности на обеих поверхностях пленки.

Представляет интерес сравнение свойств пленок, приготовленных в одинаковых условиях (пленки 2–4). Величины коэрцитивной силы на поверхности, прилегающей к подложке, для всех трех пленок практически одинаковы (см. таблицу), в то время как на свободной поверхности и в объеме заметно различаются. Видно, что слой, прилегающий к подложке, для всех трех пленок обладает наибольшей коэрцитивной силой. Поэтому усредненная по объему коэрцитивность пленки тем больше, чем меньше ее толщина.

Исследования пленки «Ангром» показали, что коэрцитивная сила свободной поверхности верхнего магнитного слоя практически вдвое превосходит усредненную по объему всей пленки. Такая конфигурация, по-видимому, способствует повышению эффективности носителя как при записи длинных, так и коротких волн.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о том, что дальнейшее усовершенствование металлизированных носителей магнитной записи может развиваться либо по пути создания пленок из нескольких тонких слоев, что должно приводить к повышению коэрцитивности носителя при высокой его эффективности, либо по пути создания однослойных инвертированных пленок (т.е. с максимальной H_c на свободной поверхности), которые могут оказаться технологичнее многослойных.

Список литературы

- [1] Nakamura K., Ohta Y., Itoh A., Hayashi C. // IEEE Trans. Magn. 1982. Vol. MAG-18. N 6. P. 1077–1079.
- [2] Kunieda T., Shinohara K., Tomago A. // J. Instr. Elektron. and Radio Eng. 1985. Vol. 55. N 6. P. 217–222.
- [3] Василевский Ю.А., Зеленина Л.И., Постников А.А., Субботин С.С. // Техника кино и телевидения. 1991. № 5. С. 14–19.
- [4] Кринчик Г.С., Шаматов У.Н. А.с. СССР. № 720521. 1978. БИ. 1980. № 9.
- [5] Ясинавичус Р.П. // Радио. 1985. № 1. С. 28–31.
- [6] Зубов В.Е., Кринчик Г.С., Кудakov А.Д. // ПТЭ. 1988. № 3. С. 206–207.
- [7] Кобелев В.В. Установка для осциллографирования петель гистерезиса плоских ферромагнитных пленок. М., 1960. 28 с.
- [8] Зубов В.Е., Кринчик Г.С., Кузьменко С.Н. // ЖЭТФ. 1991. Т. 99. Вып. 2. С. 551–561.

- [9] *Ахулов Н.С.* Ферромагнетизм. М.; Л.: ГИТТЛ, 1939. 188 с.
[10] *Gau J.S., Ho H.M., Thomas G.* // IEEE Trans. Magn. 1988. Vol. 26. N 6. P. 2994-2996.
[11] *Кринчик Г.С.* Физика магнитных явлений. М., 1985. 336 с.

Московский университет
им.М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
19 марта 1993 г.
